En concreto reforzado, la expansión de la pasta de cemento durante los primeros d de curado desarrollará un bajo nivel de presfuerzo, induciendo esfuerzos de compresión el concreto y de tensión en el acero. El nivel de esfuerzo de compresión desarrollado los concretos compensadores de la contracción varía entre 2 y 7 kg/cm². Cuando presenta la contracción por secado, la contracción del concreto dará como resultado u reducción o eliminación de la precompresión. La precompresión inicial del concreto red la magnitud de cualquier esfuerzo de tensión que se puede presentar debido a contracción, y así disminuye o elimina la tendencia al agrietamiento. Este concepto bás del uso de los elementos expansivos para producir concretos compensadores de contracción se ilustra en la
fig 13.

La cantidad de acero de refuerzo normalmente empleado en concreto reforzado hec con cemento portland usualmente es más que suficiente para proporcionar la restricc elástica requerida para los concretos compensadores de la contracción. Para sa provecho de la potencialidad expansiva del concreto compensador de la contracción importante que se inicie un curado ininterrumpido con agua (recubrimiento húmedo o inundación) inmediatamente después del acabado. Un curado inadecuado de un concr compensador de la contracción puede dar como resultado una expansión insuficiente p estirar el acero y si esto no ocurre el concreto se agrietará durante la contracción secado, fig 14.

CONTROL DE AGRIETAMIENTO MEDIANTE PRACTICAS CONSTRUCTIVAS ADECUADAS

Las prácticas constructivas, incluyen diseño, especificaciones, materiales consideraciones de mezclado, así como la práctica constructiva misma en la obra. An de discutir el control de la práctica constructiva que afecta el agrietamiento, conveniente mencionar las causas básicas del agrietamiento: la restricción. Si todas partes del concreto en una estructura de concreto están libres para moverse cuando concreto se expande o contrae, particularmente esto último, no habrá agrietamiento deb al cambio volumétrico.

Obviamente, las componentes de las estructuras de concreto no están libres, y tanto, no están libres a responder en el mismo grado a los cambios volumétric Consecuentemente, se desarrollan deformaciones diferenciales y se inducen esfuerzos tensión. Cuando estas respuestas diferenciales exceden la capacidad del concret resistirlas, en ese momento se presenta el agrietamiento. Esto señala la importancia proteger al concreto en proceso de endurecimiento, tanto como sea posible, de la pér de humedad o de una disminución en la temperatura. Estas consideraciones pueden como resultado esfuerzos capaces de causar grietas a una edad temprana, pero pue ser soportadas a una madurez mayor.

Restricciones

Las restricciones existen en muchas circunstancias bajo las cuales la estructura y sus elementos de concreto debe comportarse satisfactoriamente.

Un muro o parapeto anclado a lo largo de su base a la cimentación, o a los elementos estructurales inferiores, sujetos a cambios volumétricos menores, estará restringido a la contracción cuando su parte superior se acorte debido al secado o enfriamiento. El agrietamiento es inevitable a menos que se proporcionen juntas de contracción o ranuras de una profundidad no menor que 10 por ciento del espesor del muro, en ambas caras, en las cuales se puede presentar el agrietamiento a intervalos que varían de una a tres veces la altura de los muros, para muros altos y bajos, respectivamente.

El concreto exterior e interior, particularmente en las secciones más gruesas, cambiará de temperatura o contenido de humedad a diferentes velocidades y en diferentes grados. Cuando esto sucede, el concreto interior restringe al concreto exterior de contraerse, y las deformaciones de tensión desarrolladas puede originar que se agriete. Esto ocurre cuando la superficie se enfría, mientras el interior está aún caliente por el calor de hidratación, o cuando la superficie del concreto se seca más rápidamente que el concreto interior. Como se hizo notar anteriormente, a menudo es conveniente proteger la superficie por un tiempo a edades tempranas de tal forma que los esfuerzos diferenciales inducidos no se puedan presentar antes de que el concreto sea lo suficientemente resistente para soportar la deformación sin agrietarse.

De forma similar el refuerzo por temperatura restringe la contracción del concreto superficial, originando un mayor número de grietas pero más estrechas.

En cambios fuertes de sección, se presentarán restricciones, ya que el efecto del cambio de temperatura o de contracción por secado será diferente en las dos secciones. Si es posible, se usará una junta de contracción para relevar los esfuerzos en la restricción.

El anclaje de la losa en las losas perimetrales o zapatas origina restricciones trabajo del elemento en su plano. Cuando una losa tiene libertad para contraerse a partir de todos sus lados hacia su centro hay un agrietamiento mínimo. Las juntas de contracción y los apoyos perimetrales serán diseñados en concordancia con las restricciones.

Los muros, losas y recubrimiento de túneles colados contra la superficie irregular de una excavación en roca están restringidos del movimiento cuando la superficie se expande o contrae en respuesta a cambios en la temperatura o contenido de humedad. En estos casos se debe proporcionar juntas de contracción cercanamente espaciadas o ranuras profundas para evitar u ocultar las grietas que a menudo desfiguran esas superficies. En recubrimiento de túneles la contracción en las primeras semanas es principalmente térmica, y el empleo de concreto frío (10·C) reduce el agrietamiento en forma importante. Con el tiempo el secado es importante, el recubrimiento de concreto es mucho más resistente y capaz de soportar mejor el agrietamiento por contracción. Sin embargo, las grietas circunferenciales en recubrimientos de túneles y otros conductos de concreto y líneas de

tuberías colados en el lugar se pueden reducir en forma importante en número y ancho Como se señala en el Manual del Concreto del Bureau of Reclamation(13), esto se pued lograr si se usa una mampara para evitar el movimiento del aire a través del túnel, y si s deja agua en estanques poco profundos en la parte inferior del túnel, tan pronto como se posible y hasta ponerlo en servicio; si el túnel conducirá agua no habrá contracción p secado posterior. Sino, el concreto será mucho más resistente en un ambiente húme y será capaz de resistir mejor los esfuerzos de tensión inducidos por la contracción.

Contracción

A continuación se discute las causas principales de la contracción, la cual origina formación de grietas en el concreto.

Efecto del contenido de agua - A medida que mayor es el contenido de agua en concreto, más se contraerá durante el secado. Es importante el empleo del revenimien más bajo que sea práctico. De gran importancia resulta también la selección de la mezc que requiere la mínima cantidad de agua por metro cúbico, para la resistencia deseada concreto. Esto significa evitar mezclas con exceso de arena (a medida que es más rico concreto, más gruesa puede ser la arena y menor cantidad se empleará en la mezcl emplear el agregado de tamaño máximo más grande que sea práctico; usar agregados q tenga la forma y la granulometría más favorable para alcanzar la mejor trabajabilidad usar arena bien graduada con un mínimo de finos que pasen la malla No 100 y sin arcil tal que su equivalente de arena no sea menor que 80 por ciento.

Contrario a lo que se cree comúnmente, el incremento en el consumo de cemento el concreto, no necesariamente origina un incremento en la contracción. Esto es porq la cantidad de agua requerida no cambia mucho con el contenido de cemento. contracción por secado es proporcional al contenido de agua, no al contenido de cemen Más aun, la reducción de la cantidad de agregados finos para compensar el cemen agregado, de acuerdo con los principios de correcciones del proporcionamiento concreto, eliminará cualquier tendencia a incrementar el requerimiento de agua.

Secado superficial - El secado superficial ocurrirá en algún momento, excepto cuan la superficie está sumergida. Originará deformaciones por contracción de 600 x 10 más. La cantidad de agrietamiento por contracción dependerá de 1. que tan seca lleg a estar la superficie, 2. que tanta agua de mezclado se empleó en el concreto, 3. carácter y el grado de restricción involucrado, 4. la deformabilidad del concreto. deformabilidad representa qué tanto el concreto puede ser deformado (acortado), exceder su resistencia a tensión y es la suma de la deformación diferida más la capaci de deformación elástica.

Donde el secado de la superficie puede ser rápido, mayor cuidado se le pondrá a curado ininterrumpido para alcanzar buena resistencia superficial. Los esfuerzos agrietamiento serán reducidos posteriormente por la deformación diferida, si se evita la superficie se seque rápidamente al finalizar la etapa de curado. Para lograr esto

material de recubrimiento para el curado húmedo se permitirá que permanezca varios días sin humedecimiento posterior después de que la etapa de curado se ha terminado (preferiblemente de 7 a 10 días), hasta que la cubierta y el concreto bajo ella parecen haberse secado.

Contracción plástica - Las grietas por contracción plástica se presentan usualmente, y son objetables en la superficie de pisos y losas, cuando las condiciones ambiente de la obra son tan áridas que la humedad superficial se elimina más rápidamente de lo que se puede reemplazar con el agua de sangrado de abajo. Estas grietas se presentan antes del acabado final y del inicio del proceso de curado. Al mismo tiempo que se pierde humedad, la superficie de concreto se contrae, dando como resultado esfuerzos de tensión en el concreto en proceso de rigidización, esencialmente sin deformación, que origina grietas cortas distribuidas aleatoriamente o aberturas en la superficie. Estas grietas usualmente son anchas pero de solamente unos cuantos centímetros de profundidad. Las grietas generalmente varían desde pocos centímetros hasta el metro en longitud y están separadas entre unos cuantos centímetros y 60 cm.

Algunas veces las grietas por contracción plástica aparecen suficientemente pronto para hacerlas desaparecer con aplanado posterior o con las primeras operaciones con la llana. Cuando esto tiene éxito, es recomendable posponer estas operaciones tanto como sea posible para alcanzar un beneficio máximo sin que se vuelva a presentar el agrietamiento.

En otros casos, un aplanado más temprano que lo normal puede destruir la tensión creciente mediante el remoldeo de la superficie y evitar el agrietamiento plástico que de otra forma se presentaría. A los primeros indicios de agrietamiento, mientras el concreto aun es manejable, se trabajará vigorosamente sobre él para cerrar las grietas, ya sea llenándolas o golpeándolas con la plana. Si se cerrara firmemente, el concreto volverá a ser monolítico y es poco probable que vuelvan aparecer las grietas. Sin embargo, reaparecerán si sólo son alisados con la llana. En cualquier caso, el curado comenzará tan pronto como sea posible.

Las condiciones más favorables para originar agrietamiento por contracción plástica las altas temperaturas y viento seco. De acuerdo con esto, las especificaciones deberán estipular que se tomarán las precauciones necesarias para prevenir una pérdida importante de humedad superficial bajo tales condiciones. Entre estas precauciones está el uso de boquillas para producir niebla (no rociar agua) para mantener una brillantez de humedad en la superficie entre las operaciones de acabado. Se pueden colocar hojas de plástico antes y después del acabado con llana, de preferencia dejando expuesta solamente el área que se va a trabajar en ese momento. Menos efectivas pero útiles son ciertas películas monomoleculares rociadas en la superficie las cuales evitan la evaporación. Es deseable el uso de rompevientos, y si se usan, es deseable programar el acabado con llana después de colocarlos.

Otras prácticas útiles que puede aumentar el sangrado y contrarrestar la pérdida excesiva de la humedad superficial son: 1. usar una subbase bien húmeda, 2. enfriar los

agregados, humedeciéndolos y manteniéndolos en la bomba, y 3. usar agua de mezcla fría o escamas de hielo como agua de mezclado para disminuir la temperatura del concreto fresco.

Enfriamiento superficial - El enfriamiento superficial contraerá la superficie de concreto no restringido en promedio aproximadamente 10 x 10⁻⁶ por cada °C que disminuye la temperatura. Esto significaría 9 mm en una longitud de 30 m con una reducción de °C. La contracción se ve reducida por las restricciones y por la deformación diferida, pero se inducen esfuerzos de tensión. Mientras más pronto se presente el enfriamiento o secado y mientras más lenta sea la velocidad de que esto ocurra, menores serán los esfuerzos de tensión. Esto se debe a la influencia relajante de la deformación diferida cual da mayor deformabilidad del concreto a las edades tempranas.

En trabajos de concreto común, la protección contra el invierno requiere evitar efectos más críticos del enfriamiento para el desarrollo de la resistencia adecuada. sistema de juntas de contracción y ranuras discutido previamente para el control agrietamiento por contracción servirá para el mismo propósito contra la disminución importante en la temperatura superficial. Básicamente, estos controles disminuyen incremento de la temperatura interior originado por el calor de hidratación, mediante el de: 1. no más cemento que el necesario, 2. puzolanas para una porción del cemento, aditivos reductores del agua de mezclado, 4. inclusión de aire, 5. agregado grande, 6. b revenimiento y 7. por último, pero no menos importante, donde sea posible, escamas hielo como agua de mezclado para mantener la temperatura del concreto fresco tan cerca de los 10 °C como sea posible. En ningún momento se quitarán las cimbras para expo la superficie caliente del concreto a las bajas temperaturas.

Decantación

Las grietas originadas por decantación se desarrollan mientras el concreto está estado plástico, después de la vibración inicial. No se debe a ninguna de las cau previamente comentadas, si no al resultado natural de que los sólidos más pesados asientan en un medio líquido.

Las grietas originadas por la decantación se presentan abajo del refuerzo horizo soportado rígidamente, de los pernos de las cimbras u otros elementos embebidos menudo las grietas aparecen en juntas de construcción horizontales y en losas cubiertas de puentes, sobre el refuerzo o pernos de las cimbras con solamente unos po centímetros de recubrimiento. Las grietas en cubiertas de puentes pueden reduc incrementando el recubrimiento de concreto. El revibrado posterior, ejecu adecuadamente puede emplearse para cerrar las grietas causadas por el asentamien mejorar la calidad y apariencia del concreto en la porción superior de tales colocacio aun cuando la decantación se ha presentado y el revenimiento se ha perdido.

Construcción

Durante la construcción se puede hacer un gran esfuerzo para minimizar el agrietamiento, o en muchos casos para eliminarlo. Pero tales acciones deben ser requeridas por las especificaciones y por el cuerpo de ingenieros que las administran. Las acciones incluyen lo siguiente:

Agregados para concreto - Los agregados serán tales que produzcan concretos de alta capacidad de deformación. Los agregados finos y gruesos deben ser limpios y libres de material fino innecesario, particularmente arcilla. La arena tendrá un valor de equivalente de arena arriba de 80 por ciento, y esto se verificará frecuentemente. La arena estará almacenada por suficiente tiempo para que se estabilice el contenido de humedad a un nivel inferior a 7 por ciento sobre la base de seca al horno.

Cementos expansivos - Los cementos expansivos se pueden usar para retrasar la contracción durante el fraguado del concreto en elementos reforzados restringidos con el mínimo acero de contracción. La propiedad principal de estos cementos es que la expansión inducida en el concreto mientras fragua y endurece está diseñada para equilibrar la contracción por secado normal. Con un uso correcto (particularmente con un curado con agua amplio y a edad temprana de lo cual depende la expansión máxima), la distancia entre juntas puede algunas veces triplicarse sin incrementar el nivel del agrietamiento por contracción.

Lechadas, morteros o concretos sin contracción - Usualmente los sólidos en mezclas de lechadas, morteros y concretos se decantarán antes del endurecimiento, y parte del agua subirá hacia la superficie. Esta decantación puede ser objetable si el espacio hay que llamarlo sin dejar vacíos en la parte superior, tales como en las barras para maquinarias. Las medidas tomadas para evitar tales asentamientos ha producido lo que se conoce como lechada, mortero o concreto "sin contracción". Algunos de los materiales solamente previenen la decantación, otros además, proporcionan expansión a medida que la mezcla endurece.

Los materiales más ampliamente empleados contienen polvo de aluminio sin bruñir. Estos no contendrán estereatos, palmitatos o ácidos grasos. En una solución alcalina, como la que existe en mezclas de cemento portland, el aluminio reacciona para formar óxidos de aluminio e hidrógeno. El gas hidrógeno tiende a expander la mezcla y de esta forma evita la reducción y en muchos casos origina expansión. La cantidad de polvo de aluminio usado varía ampliamente con las condiciones, pero usualmente está entre 0.005 y 0.01 por ciento del peso de cemento. No es posible especificar un porcentaje exacto debido a que la cantidad a emplearse varía con factores tales como la temperatura, el contenido de álcalis del cemento y el consumo de cemento en la mezcla. Por lo tanto, es indispensable hacer mezclas de prueba con varios porcentajes de polvo de aluminio para encontrar el porcentaje de la expansión deseada bajo las condiciones prevalecientes. La cantidad de polvo de aluminio usado es tan pequeña que es posible mezclarlo con 50 partes de arena o ceniza volante. La mezcla tendrá suficiente volumen para que sea fácilmente medido y dispersado adecuadamente en la revoltura.

9. Lerch, W, "The Influence of Gypsum on the Hydration and Properties of Portland Cement Pastes", Proceedings, ASTM, V46, 1946, pp 1252-1297

10. Carlson RW, "Drying Shrinkage of Concrete as Affected by Many Factors", Proceedings, ASTM, V38, Part II, 1938, pp 419-437

11. Carlson RW, "Drying Shrinkage of Large Concrete Members", ACI Journal, Proceedings, V33, No 3, 1937, pp 327-336

12. Hansen, TC and Mattock, AH, "Influence of Size and Shape of Member on the Shrinkage and Creep of Concrete", ACI Journal, Proceedings, V63, No 2, 1966, pp 267-290

13. Concrete Manual, 8th Edition, US Bureau of Reclamation, Denver, 1975, 627 pp

M. en C. Carlos J. Mendoza E.
Subdirector, Instituto de Ingeniería,
Universidad Nacional Autónoma de México
(UNAM), México, D.F.

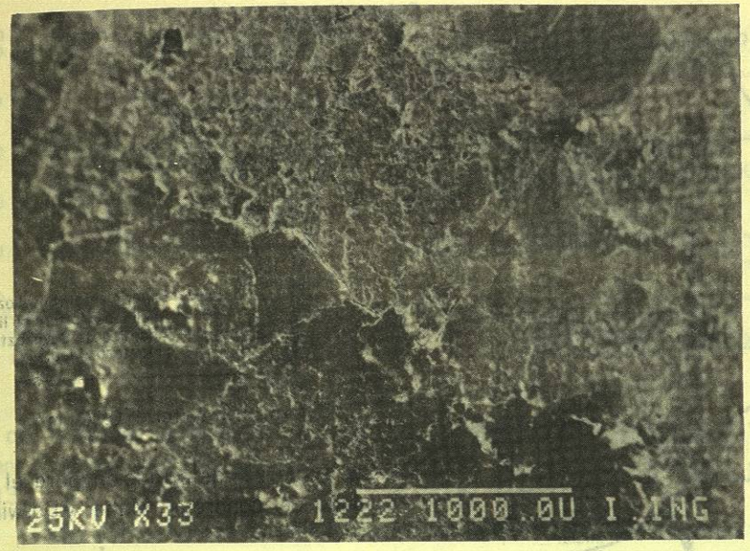

Fig 1 Agrietamiento en la interfase agregado grueso-mortero

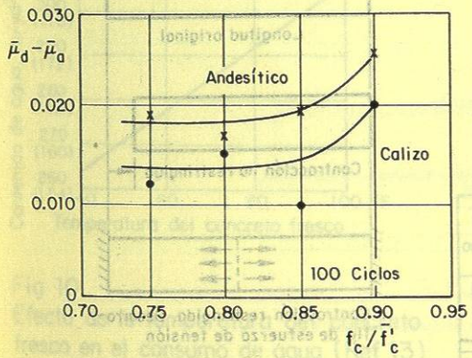

Fig 2
Incremento en la relación de Poisson con el nivel de esfuerzo máximo

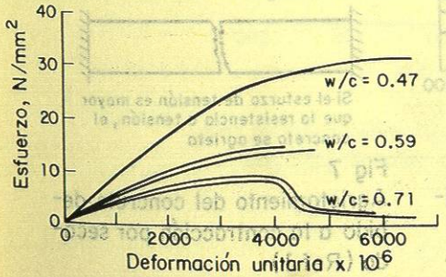

Fig 3
Curvas esfuerzo-deformación para pasta de cemento a 7 días de edad (Spooner, Pomeroy y Dougill)

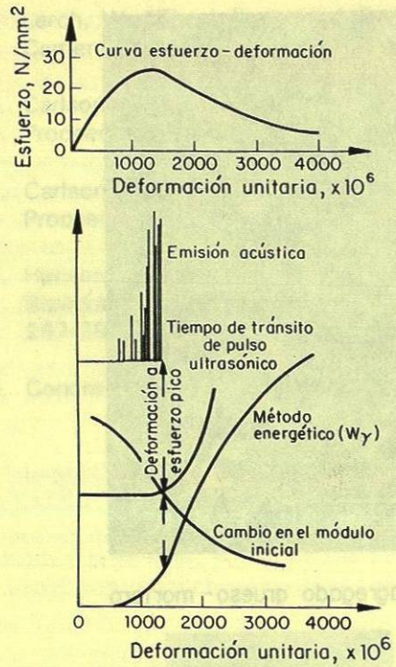

Fig 4
Comparación de métodos para detectar daños en especímenes de concreto (Spooner y Dougill)

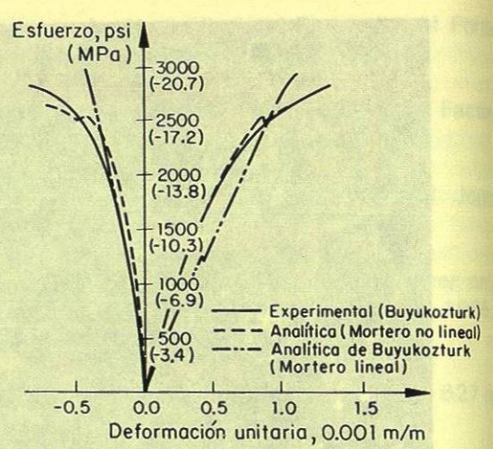

Fig 6
Curvas esfuerzo-deformación para el modelado del concreto (Maher y Darwin)

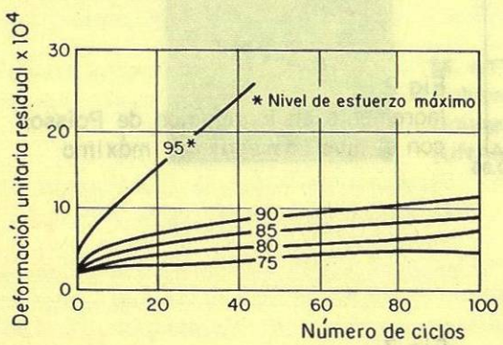

Fig 5
Incremento de la deformación unitaria residual con el esfuerzo máximo y el número de ciclos

Fig 7
Agrietamiento del concreto debido a la contracción por secado (Ref 1)

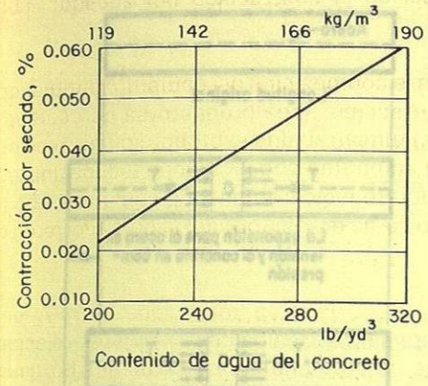

Fig 8
Efecto del contenido de agua del concreto en la contraccion por secado (Ref 13)

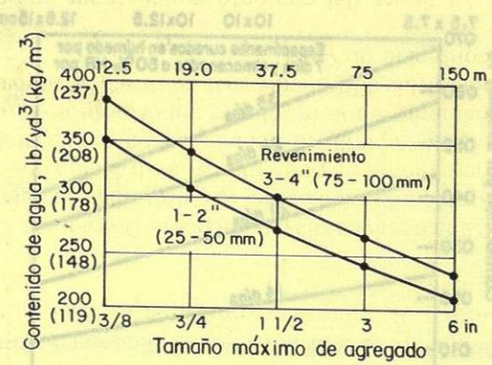

Fig 9
Efecto del tamaño del agregado en el consumo de agua de concretos sin aire incluido (ACI 211.1)

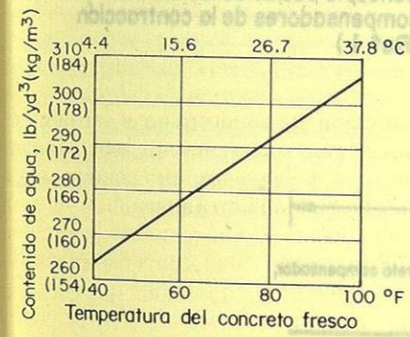

Fig 10
Efecto de la temperatura del concreto fresco en el consumo de agua (Ref 13)

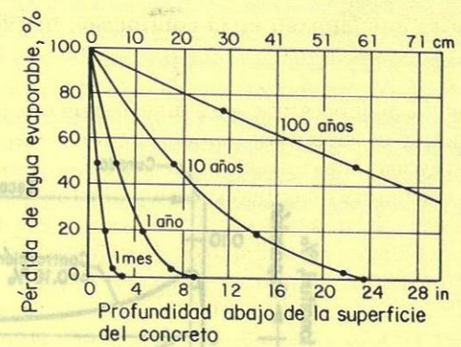

Fig 11
Velocidad de secado del concreto expuesto a 50% de humedad relativa (Ref 11)

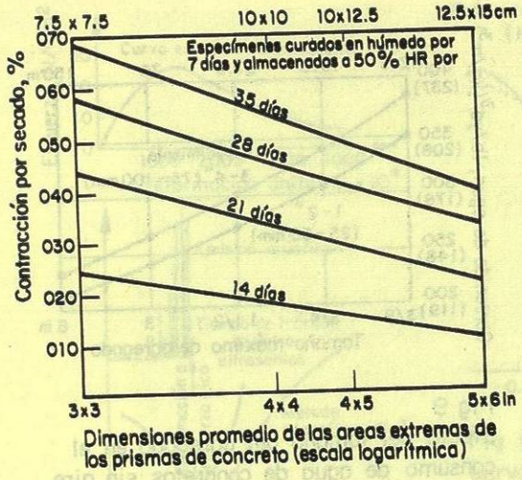

Fig 12
Efecto del tamaño de los especímenes en la contracción por secado del concreto (Ref 1)

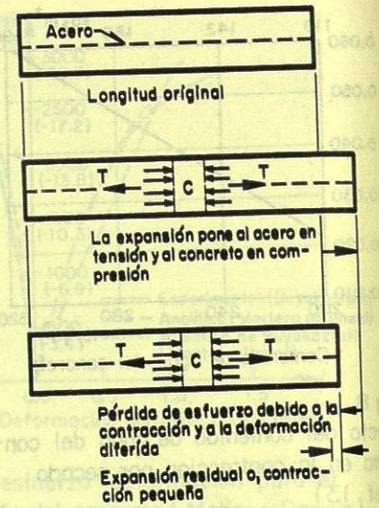

Fig 13
Concepto básico de los concretos compensadores de la contracción (Ref 1)

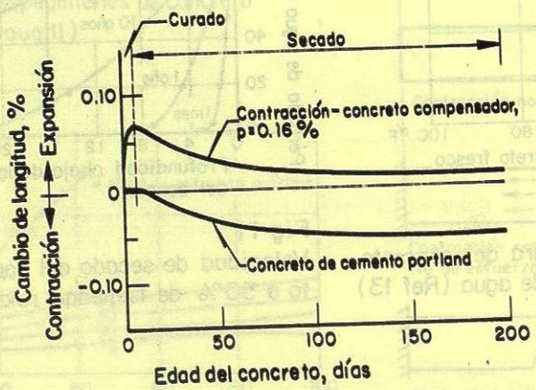

Fig 14
Características del cambio de longitud de concretos compensadores de la contracción y de cemento portland. Humedad relativa 50% (Ref 1)